

## AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÍSMICA DO NÚCLEO URBANO ANTIGO DO SEIXAL

**VICENTE, R.**

Professor Auxiliar  
Universidade de Aveiro  
Aveiro - Portugal

**MENDES DA SILVA, J.A.R.**

Professor Associado  
Universidade de Coimbra  
Coimbra - Portugal

**VARUM, H.**

Professor Associado  
Universidade de Aveiro  
Aveiro - Portugal

**COSTA, A.**

Professor Catedrático  
Universidade de Aveiro  
Aveiro - Portugal

**OLIVEIRA, C.S.**

Professor Catedrático  
Instituto Superior Técnico  
Lisboa - Portugal

**FERREIRA, T.**

Bolseiro  
Universidade de Aveiro  
Aveiro - Portugal

**SANTOS, M.**

Bolseiro  
Universidade de Aveiro  
Aveiro - Portugal

**SANTOS, C.**

Bolseiro  
Universidade de Coimbra  
Coimbra - Portugal

**SUBTIL, A.**

Bolseiro  
Universidade de Coimbra  
Coimbra - Portugal

### SUMÁRIO

A avaliação do risco sísmico, tal como de outros fenómenos naturais, tem vindo a ganhar protagonismo ao longo das últimas décadas, sendo considerado primordial na definição de estratégias de planeamento e gestão urbana. A avaliação da vulnerabilidade sísmica de edifícios existentes, na perspectiva da mitigação do risco sísmico, deve colocar-se não só em relação aos edifícios monumentais ou culturalmente valiosos, mas também em relação a aglomerados de edifícios em núcleos urbanos, particularmente nos núcleos urbanos antigos.

A análise do desempenho de edifícios em sismos recentes tem permitido identificar quais os aspectos estruturais que mais influenciam a sua vulnerabilidade e o desenvolvimento de mecanismos de danos. Neste artigo analisam-se os resultados da avaliação da vulnerabilidade sísmica do núcleo urbano antigo do Seixal, obtidos através da aplicação de uma metodologia baseada num índice de vulnerabilidade. Através da avaliação da vulnerabilidade sísmica, esta metodologia permite ainda estimar dano e criar cenários de perda. Estes resultados serão apresentados tirando partido de uma ferramenta integrada num Sistema de Informação Geográfica (SIG).

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1. Enquadramento

As experiências conduzidas na avaliação da vulnerabilidade sísmica de grandes áreas urbanas têm-se baseado na utilização de técnicas indirectas ou híbridas, justificadas pelo elevado número de construções a avaliar. A escolha da metodologia de avaliação da vulnerabilidade deverá atender a vários aspectos intrínsecos ao edifício a analisar, entre os quais, a sua natureza, função e tipologia construtiva. Os critérios utilizados nessa avaliação devem igualmente ser sensíveis ao tipo de construção existente, seja esta de cariz social, industrial ou monumental. Esta análise diferenciada, no que respeita aos aspectos dos edifícios a avaliar, é orientada por diferentes critérios e sensibilidades, com repercussão na avaliação da vulnerabilidade e consequentemente no grau de dano estimado.

Quando se trata de mitigar o risco sísmico de uma dada região, é fundamental avaliar e minimizar o risco, intervindo e minimizando a perigosidade,  $H$ , a exposição,  $E$  ou a vulnerabilidade,  $V$ . Efectivamente, a ideia de actuar sobre a perigosidade não se afigura viável do ponto de vista técnico-económico, não só devido aos custos associada a este tipo de acção, mas principalmente pela escala de intervenção aqui em causa. Quanto à exposição, esta poderá ser considerada segundo dois planos de perda distintos, as perdas económicas e a perda de vidas humanas. Embora seja extremamente difícil de actuar isoladamente e de forma eficaz sobre o plano de perdas económicas, quando associado à perda de vidas humanas, é possível por em prática intervenções a grande

escala, através de campanhas de sensibilização, preparação e educação para o perigo. Quanto preparadas e aplicadas convenientemente, o custo associado a estas operações será muito mais baixo que o custo global das perdas produzidas por eventos sísmicos futuros. Com respeito à vulnerabilidade do edificado, é essencial o desenvolvimento de estudos, através dos quais se procure estimar o grau de dano associado a um determinado nível de acção sísmica. Com base nos resultados provenientes desses estudos, é possível desenvolver análises custo-benefício rigorosas, aplicáveis na avaliação das necessidades de intervenção do edificado.

As operações de convolução necessárias à avaliação do risco sísmico são complexas e apenas exequíveis com recurso à computação. Este facto deve-se não só ao elevado número de variáveis em jogo, mas igualmente à difícil gestão e apresentação dos resultados produzidos. Os sistemas de informação geográfica (SIG) surgem assim como ferramentas importantes na gestão e tratamento dos resultados produzidos, não apenas através da visualização espacial da informação, mas igualmente pela possibilidade de integrarem potencialidades programadas úteis na resolução de operações matemáticas complexas. Utilizando informação como *input* do processo (características geológicas e topográficas da área em análise, informação de macro e microzonificação, tipologias estruturais existentes, valor económico dos edifícios, etc.) é possível obter saídas gráficas na forma de mapas, permitindo uma análise espacial de danos e perdas associadas a um determinado cenário de risco sísmico [1].

## 1.2. Objectivo

Com base no referido ao longo da secção 1.1, entende-se que o primeiro objectivo de qualquer estudo de avaliação da vulnerabilidade sísmica à escala urbana deverá passar pela identificação das principais fragilidades dos edifícios, servindo de base a eventuais acções integradas de intervenção através das quais será possível minimizar a vulnerabilidade e o risco sísmico associado a estes edifícios. Assim, no âmbito do processo de avaliação da vulnerabilidade sísmica do Núcleo Urbano Antigo do Seixal, desenvolveu-se um conjunto de campanhas de identificação e inspecção do edificado antigo, servindo estas de base à concretização do principal objectivo do trabalho, a construção de mapas de vulnerabilidade e de cenários de dano e de perda..

A metodologia do índice de vulnerabilidade sísmica dos edifícios utilizada neste trabalho, baseia-se essencialmente em observações de dano pós-sismo e na identificação das características construtivas que mais influenciam o desenvolvimento de dano em edifícios antigos de alvenaria. Nesta metodologia holística, utilizada na definição do risco sísmico, a avaliação da vulnerabilidade dos edifícios assume uma elevada importância, não só devido às consequências físicas decorrentes da eventual ocorrência de um evento sísmico, mas igualmente pelo potencial científico que este aspecto apresenta.

Destaque-se uma vez mais o desenvolvimento para este trabalho de uma ferramenta integrada em SIG, utilizada no cruzamento de dados e na análise espacial dos resultados.

## 1.3. Metodologia do índice de vulnerabilidade sísmica de edifícios

O índice de vulnerabilidade sísmica utilizado na avaliação dos edifícios do Núcleo Urbano Antigo do Seixal é calculado através de uma soma ponderada de 14 parâmetros, classificáveis em 4 classes de vulnerabilidade crescente: A, B, C e D. Cada um destes parâmetros avalia um aspecto que influencia o desempenho sísmico do edifício (escolhendo a classe de vulnerabilidade que melhor a caracteriza). Subsequentemente, a cada parâmetro de avaliação é associado um peso, variando de 0.5, para os parâmetros menos importantes, até 1.5, para os parâmetros com maior importância na vulnerabilidade do edifício (ver Tabela 1)

A equação (1) apresenta a expressão analítica do índice de vulnerabilidade sísmica de edifícios,  $I_v^*$ :

$$I_{vf}^* = \sum_{i=1}^{13} c_i \times p_i \quad (1)$$

O valor do índice de vulnerabilidade,  $I_v^*$ , varia entre 0 e 650. No entanto, com o propósito de simplificar a sua utilização, procedeu-se à normalização deste índice (soma ponderada normalizada), passando a variar no

intervalo de 0 a 100. Este valor funciona como uma pontuação atribuída ao edifício e constitui um passo intermédio na estimativa de dano associado a um nível de acção sísmica definido pela intensidade  $I$  (na escala macrossísmica europeia EMS-98 [2]) ou pela aceleração de pico do solo (PGA). Na Tabela 1 apresentam-se os 14 parâmetros utilizados na formulação proposta do índice de vulnerabilidade, bem como as respectivas classes,  $C_{vi}$ , e pesos,  $p_i$ , associados a cada parâmetro [1].

Tabela 1 - Parâmetros e pesos associados ao cálculo do índice de vulnerabilidade da fachada,  $I_{vf}$

PARÂMETROS	Classe $C_{vi}$				Peso
	A	B	C	D	$p_i$
P1 Tipo e organização do sistema resistente	0	5	20	50	0.75
P2 Qualidade do sistema resistente	0	5	20	50	1.00
P3 Resistência convencional	0	5	20	50	1.50
P4 Distância máxima entre paredes	0	5	20	50	0.50
P5 Altura do edifício	0	5	20	50	1.50
P6 Posição do edifício e fundações	0	5	20	50	0.75
P7 Localização e interacção	0	5	20	50	1.50
P8 Irregularidade em planta	0	5	20	50	0.75
P9 Irregularidade em altura	0	5	20	50	0.75
P10 Desalinhamento de aberturas	0	5	20	50	0.50
P11 Diafragmas horizontais	0	5	20	50	1.00
P12 Tipo de cobertura	0	5	20	50	1.00
P13 Danos estruturais identificados	0	5	20	50	1.00
P14 Elementos não-estruturais	0	5	20	50	0.50

ÍNDICE DE  
VULNERABILIDADE

$$I_v^* = \sum_{i=1}^{14} C_{vi} \times p_i$$

Índice de vulnerabilidade  
normalizado  
  
 $0 \leq I_{vf} \leq 100$

## 2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AO NÚCLEO URBANO ANTIGO DO SEIXAL

### 2.1. Caso de estudo

O estudo da avaliação da vulnerabilidade sísmica do Núcleo Urbano Antigo do Seixal abrange uma área com cerca de 166 000 m<sup>2</sup> e contém um total de 504 edifícios. De forma de otimizar as acções de inspecção e o posterior tratamento de dados, a área em análise foi dividida em 5 zonas distintas (Z1 a Z5), função das características construtivas e morfológicas dos edifícios (Figura 1).



Figura 1: Área do projecto e zonamento no Núcleo Urbano Antigo do Seixal

Por razões logísticas, dividiram-se e organizaram-se os 504 edifícios em três grupos: o primeiro grupo, composto por edifícios para os quais foi possível realizar uma inspecção detalhada (99), compreendendo o preenchimento de um conjunto de fichas de inspecção no terreno; o segundo grupo, composto por edifícios para os quais apenas foi possível realizar uma avaliação visual exterior não detalhada (197); e o terceiro e último grupo, composto por edifícios que pelas suas características (construções em betão armado) ou actual estado de conservação (reabilitados ou em pré-ruína) e ocupação (devolutos), não são integráveis no âmbito deste trabalho (208). Cada um destes três grupos será identificado respectivamente como o grupo dos edifícios: “Detalhados”, “Não detalhados” e “Não avaliados”.

## 2.2. Discussão dos resultados

Da aplicação das metodologias de avaliação da vulnerabilidade sísmica aos 99 edifícios levantados de forma detalhada, resultou um valor médio estimado de 34.16 para o índice de vulnerabilidade,  $I_{v,médio}$ . Com a introdução do procedimento complementar, utilizado na avaliação da vulnerabilidade dos restantes 199 edifícios, para os quais a informação não é detalhada e completa, o valor deste índice sofreu um pequeno decréscimo, fixando-se em 32.81. Os valores extremos, mínimo e máximo, resultantes da análise detalhada dos edifícios foram de  $I_{v,min}=15$  e  $I_{v,máx}=63$ .

O valor do desvio padrão associado à avaliação detalhada dos edifícios,  $\sigma_{I_v}$ , foi de 9.51. Com a introdução dos resultados da avaliação não detalhada, o valor do desvio padrão fixou-se em 7.03. Esta diferença corresponde a uma redução do valor do desvio padrão em cerca de 26%. A Figura 2 apresenta os histogramas de distribuição e as funções normais ajustadas aos resultados obtidos.

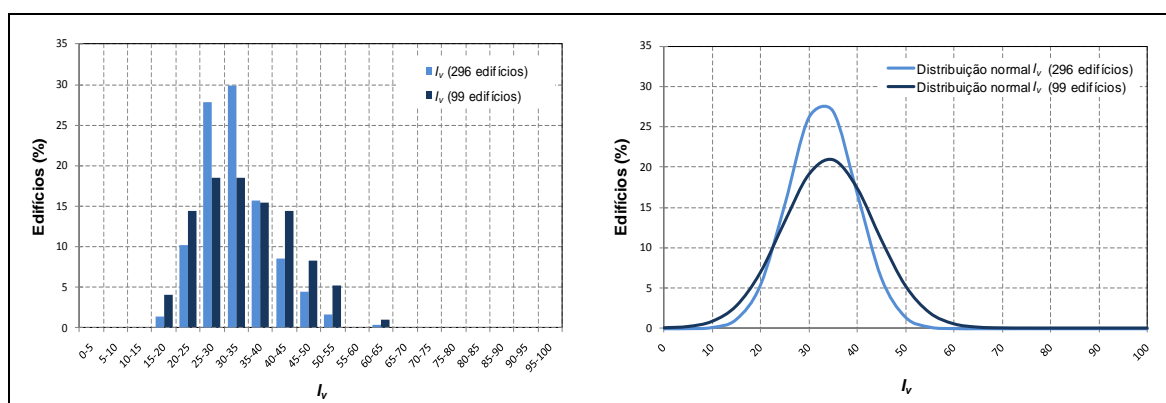


Figura 2: Histograma e curva gaussiana normal ajustada resultante da distribuição do  $I_v$  aos edifícios avaliados

Cerca de 15% do edificado apresenta um índice de vulnerabilidade sísmica acima de 40, sendo que destes, cerca de 7% apresenta mesmo um valor acima de 45, correspondente à classe de vulnerabilidade A da EMS-98 [2].

## 2.3. Estimativa de danos

### 2.3.1. Distribuição de cenários de dano

Após a aplicação da metodologia do índice de vulnerabilidade sísmica,  $I_v$ , aos edifícios em estudo, estimaram-se, em função de várias intensidades sísmicas,  $I_{EMS-98}$ , os seus graus de dano médio,  $\mu_D$ . Variável entre 0 e 5, o valor do grau de dano médio depende do índice de vulnerabilidade definido,  $V$  (ver equação (3)), da intensidade sísmica medida segundo a escala EMS-98,  $I_{EMS-98}$ , e ainda de um factor de ductilidade,  $Q$ , igual a 2.0.

A equação (2) apresenta a expressão analítica utilizada na estimativa dos graus de dano médio associados aos edifícios em estudo.

$$\mu_D = 2.5 \times \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25 \times V - 13.1}{Q} \right) \right] ; 0 \leq \mu_D \leq 5 \quad (2)$$

$$V = 0.592 + 0.0057 \times I_v \quad (3)$$

Na Figura 3a) apresentam-se as curvas de vulnerabilidade no formato  $I_{EMS-98}-\mu_D$ , construídas a partir do valor médio do índice de vulnerabilidade ( $I_{v,médio}=34.16$ ), assim como de outros valores característicos da distribuição gaussiana definidos pela adição e subtração, simples ou dupla, do valor do desvio padrão ( $\sigma_{I_v}=9.51$ ). A título de exemplo apresentam-se ainda na Figura 3b) duas distribuições de dano médio estimado, usando a função de distribuição beta (com parâmetros geométricos:  $t=12$ ;  $a=0$ ;  $b=5$ ), para as intensidades VIII e IX.

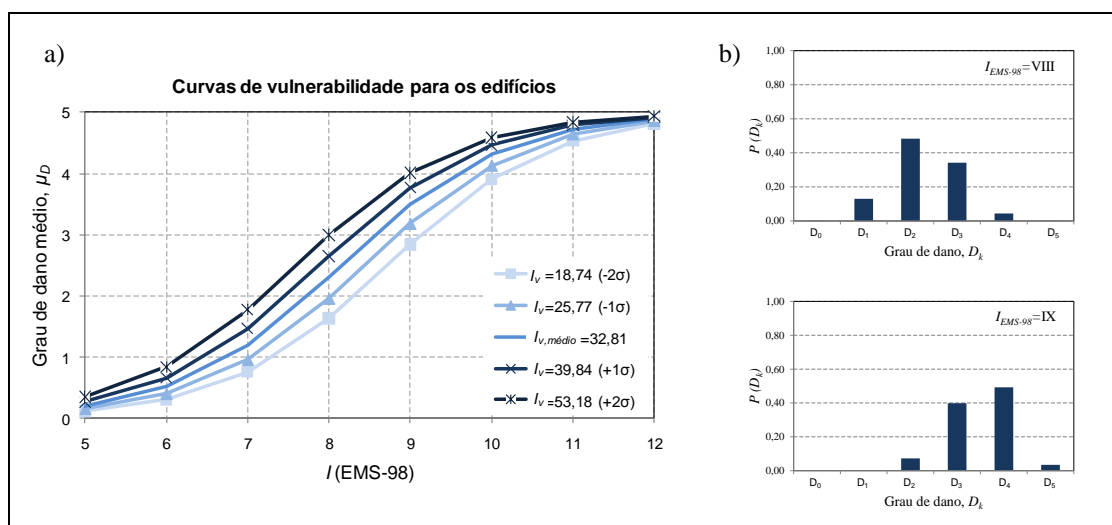


Figura 3: a) Curvas de vulnerabilidade; b) distribuições de dano médio estimado para  $I_{v,médio}=32.81$

Recorrendo à ferramenta SIG desenvolvida, apresenta-se de seguida a distribuição dos valores do grau de dano médio,  $\mu_D$ , para cada um dos 296 edifícios. Nas Figuras 4 e 5 observam-se cenários de dano para a acção sísmica caracterizada por uma intensidade macrosísmica de VIII e IX. O mapeamento do grau de dano médio, com recurso à ferramenta SIG, permite a identificação e análise espacial de zonas com maior risco.



Figura 4: Cenário de dano para  $I(EMS-98)=VIII$





Figura 5: Cenário de dano para  $I(EMS-98)=IX$

Da observação das Figuras 4 e 5 verifica-se que o grau de dano médio estimado,  $\mu_D$ , para o cenário com intensidade VIII varia sensivelmente entre 1.5 e 3.7, e para o cenário de intensidade IX, entre 2.7 e 4.4.

### 2.3.2. Curvas de fragilidade

As distribuições de dano obtidas usando a função *beta* representam a probabilidade associada a cada um dos graus de danos,  $D_k$  (de 0 a 5). As curvas de fragilidade constituem uma outra forma de representação do dano esperado e definem a probabilidade de excedência de um determinado grau/estado de dano. São obtidas directamente da função de densidade *beta* cumulativa, para um determinado valor do índice de vulnerabilidade representativo de uma classe tipológica ou de um edifício [1].

Tal como as curvas de vulnerabilidade, as curvas de fragilidade definem a relação entre a intensidade sísmica e o dano (definida por cinco estados), em termos de uma função de probabilidade contínua, expressando assim a probabilidade cumulativa condicional de atingir ou superar determinado estado de dano. As probabilidades discretas,  $P(D_k=d)$  são obtidas pela diferença das probabilidades cumulativas  $P_D[D_i \geq d]$  (equação (4)):

$$P(D_k=d) = P_D[D_k \geq d] - P_D[D_{k+1} \geq d] \quad (4)$$

Na Figura 6 apresentam-se as curvas de fragilidade obtidas para um valor do índice de vulnerabilidade médio de  $I_{v,médio}=32.81$ , e ainda para um valor médio adicionado do valor do desvio padrão ( $I_{v,médio}+\sigma_{Iv}=39.84$ ).

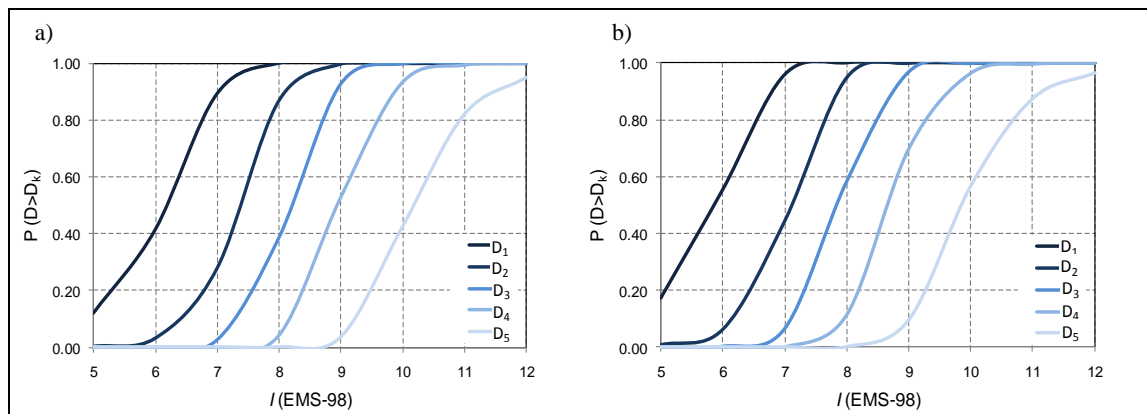


Figura 6: Curvas de fragilidade: a)  $I_v=32.81$ ; b)  $I_v=39.84$

## 2.4. Avaliação de perdas

### 2.4.1. Colapso e inutilização de edifícios

De entre várias propostas possíveis, adoptou-se a proposta do *Servizio Sismico Nazionale*, SSN [3] para o cálculo das probabilidades de colapso e de inutilização dos edifícios. Na estimativa de perdas, estabeleceram-se expressões de carácter empírico, combinando os valores de probabilidade de ocorrência de determinados graus de dano e associando-lhes pesos.

As probabilidades associadas à ocorrência de determinados graus de dano (ou até da probabilidade de excedência), são utilizadas na definição e estimativa das perdas, afectadas de um peso (variável entre 0 e 1.0) que lhes é atribuído. O procedimento do SSN [3] e HAZUS [4] indica valores distintos para estes pesos, sendo que para este trabalho, os valores adoptados foram os seguintes:  $W_{ei,3}=0.4$ ;  $W_{ei,4}=1.0$ ;  $W_{ei,5}=1.0$ ;  $W_{ei,4}=1.0$ ;  $W_{ei,5}=1.0$ .

Os graus de dano moderado ( $D_3$  e  $D_4$ ) encontram-se assim relacionados com a probabilidade dos edifícios ficarem inutilizáveis, sendo o grau de dano mais elevado ( $D_5$ ) associado à probabilidade de colapso. Para obtenção desta probabilidade de colapso, ou da probabilidade de inutilização dos edifícios (isto é, que não permitem a sua reocupação após ocorrência do sismo), recorreu-se às equações (5) e (6):

$$P_{\text{colapso}}=P(D_5) \quad (5)$$

$$P_{\text{edifícios inutilizáveis}}=P(D_3) \times W_{ei,3} + P(D_4) \times W_{ei,4} \quad (6)$$

em que:  $P(D_i)$  é a probabilidade de ocorrência de determinado nível de dano ( $D_1$  a  $D_5$ ); e  $W_{ei,j}$  são os pesos que indicam a percentagem de edifícios associados aos níveis de dano  $D_i$ , que sofrem colapso ou que são considerados inutilizáveis.

Na Figura 7 apresentam-se as probabilidades associadas a diferentes valores de vulnerabilidade: índice de vulnerabilidade médio,  $I_{v,\text{médio}}=32.81$ , e outros valores do índice de vulnerabilidade subtraídos ou somados do valor do desvio padrão da distribuição normal definida na Figura 1 ( $I_{v,\text{médio}}-2\sigma_{Iv}$ ;  $I_{v,\text{médio}}-1\sigma_{Iv}$ ;  $I_{v,\text{médio}}$ ;  $I_{v,\text{médio}}+1\sigma_{Iv}$ ;  $I_{v,\text{médio}}+2\sigma_{Iv}$ ). Note-se que o número de edifícios inutilizáveis decresce com a intensidade, à medida que o número de edifícios que sofrem colapso aumenta.

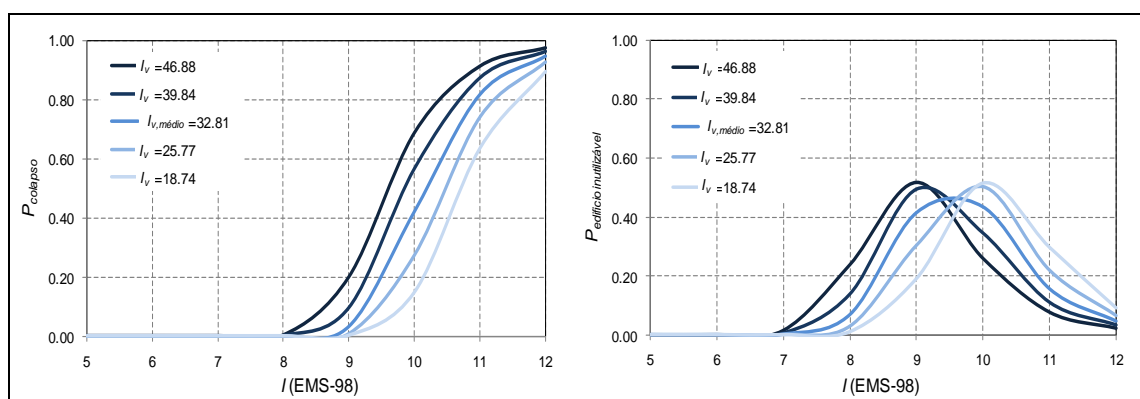


Figura 7: Probabilidade de colapso e inutilização de edifícios para diferentes valores do  $I_v$

Para um sismo de intensidade moderada a alta, considerando as intensidades VII, VIII, IX e X na escala macrossísmica europeia, EMS-98 [2] e para o valor médio da vulnerabilidade estimada para os 296 edifícios do Núcleo Urbano Antigo do Seixal, calcularam-se os efeitos resultantes do produto da probabilidade pelo número de edifícios, expressando-os em termos de número total (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados da estimativa de colapso e inutilização de edifícios

Número total de edifícios: 296	Intensidade sísmica, $I_{EMS-98}$			
	VII	VIII	IX	X
Colapsos	0	0	10 (3.50%)	125 (42.63%)
Edifícios inutilizáveis	1 (0.18%)	20 (6.91%)	123 (41.85%)	129 (43.83%)

#### 2.4.2. Perdas humanas e desalojados

À semelhança do realizado na estimativa de colapso e inutilização dos edifícios, e por uma questão de coerência e consistência dos resultados, a estimativa do número de mortos/feridos graves e de desalojados foi calculada recorrendo à proposta do *Servizio Sismico Nazionale* [3]. A estimativa destas taxas foi então calculada em função da probabilidade de ocorrência de determinado grau de dano, através das equações (7) e (8):

$$P_{\text{mortos e feridos graves}} = 0.3 \times P(D_5) \quad (7)$$

$$P_{\text{desalojados}} = P(D_3) \times W_{ei,3} + P(D_4) \times W_{ei,4} + 0.7 \times P(D_5) \quad (8)$$

Conforme se constata através da interpretação da equação (7), considera-se que 30% dos residentes que habitem em edifícios que venham a colapsar (probabilidade de atingir ou exceder grau de dano 5) sucumbem ou ficam gravemente feridos. A probabilidade de ocorrência de pessoas a precisar de abrigo provisório é determinada pela equação (8), que considera que 100% das pessoas residentes em edifícios inutilizáveis, e os restantes 70% dos residentes dos edifícios colapsados, não poderão reocupar as suas habitações após a ocorrência de um sismo, sendo considerados desalojados.

A Figura 8 apresenta as curvas de ocorrência de probabilidade de mortos e feridos graves e de desalojados, associados a diferentes valores de vulnerabilidade: índice de vulnerabilidade médio,  $I_{v,médio} = 32.81$  e outros valores do índice de vulnerabilidade subtraídos ou somados do valor do desvio padrão da distribuição normal definida na Figura 1 ( $I_{v,médio} - 2\sigma_{Iv}$ ;  $I_{v,médio} - \sigma_{Iv}$ ;  $I_{v,médio}$ ;  $I_{v,médio} + \sigma_{Iv}$ ;  $I_{v,médio} + 2\sigma_{Iv}$ ).

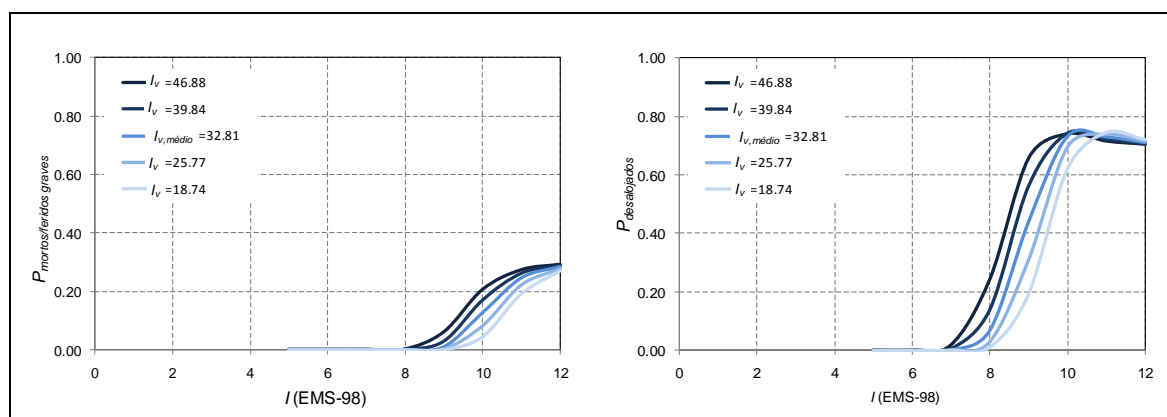


Figura 8: Probabilidade de ocorrência de mortos/feridos graves e de desalojamento para diferentes valores do  $I_v$

Também neste caso, analisaram-se quatro cenários de intensidade sísmica variável entre VII e X, de acordo com a escala macrossísmica, fornecendo resultados relativos ao número e percentagem de mortos e feridos graves, bem como da população residente desalojada (ver Tabela 3). Note-se a elevada percentagem de residentes que podem ficar desalojados, num cenário de intensidade sísmica de grau VIII, alertando para a importância de uma preparação logística eficaz, por parte das entidades competentes, no que respeita ao realojamento temporário da população no caso de ocorrência de um sismo de intensidade superior a VII.



Tabela 3 - Resultados da estimativa de mortos, feridos graves e desalojados

Número total de pessoas: 1207	Intensidade sísmica, $I$ (EMS-98)			
	VII	VIII	IX	X
Desalojados	2 (0,18%)	83 (6,87%)	531 (44%)	883 (73,17%)
Mortos e feridos graves	0	0	13 (1,04%)	153 (12,70%)

### 2.4.3. Perdas económicas e estimativa de custos de reparação

Os danos podem ser interpretados através de um índice económico que representa o quociente entre o custo de reparação e de substituição, interpretado como um custo de reparação relativo ao valor original do edifício [5]. A correlação entre os graus de dano e os custos de reparação e reconstrução é obtida pelo processamento e tratamento de dados pós-sismo [6].

A estimativa dos custos de reparação para um dado evento sísmico de intensidade  $I$ ,  $P[R/I]$  pode ser obtida pelo produto da probabilidade condicionada do custo de reparação ao nível de dano,  $P[R/D_k]$  com a probabilidade condicionada do dano à vulnerabilidade do edifício e à intensidade sísmica,  $P[D_k/I_v, I]$ , podendo ser escrita na forma da equação (9).

$$P[R|I] = \sum_{D_k=1}^5 \sum_{I_v=0}^{100} P[R|D_k] \times P[D_k|I_v, I] \quad (9)$$

Para estimar os custos de reparação associados a diferentes valores de vulnerabilidade utilizados na avaliação de perdas ( $I_{v,médio}$ ;  $I_{v,médio}+2\sigma_{I_v}$ ;  $I_{v,médio}-2\sigma_{I_v}$ ), considerou-se para o edificado do Núcleo Urbano Antigo do Seixal um valor imobiliário médio de 750€/m<sup>2</sup> (valor calculado com base na Portaria nº.1379-B/2009 [7]). Na Figura 9 apresentam-se os custos globais de reparação para toda a área de estudo (296 edifícios) em função da intensidade sísmica,  $I_{EMS-98}$ .

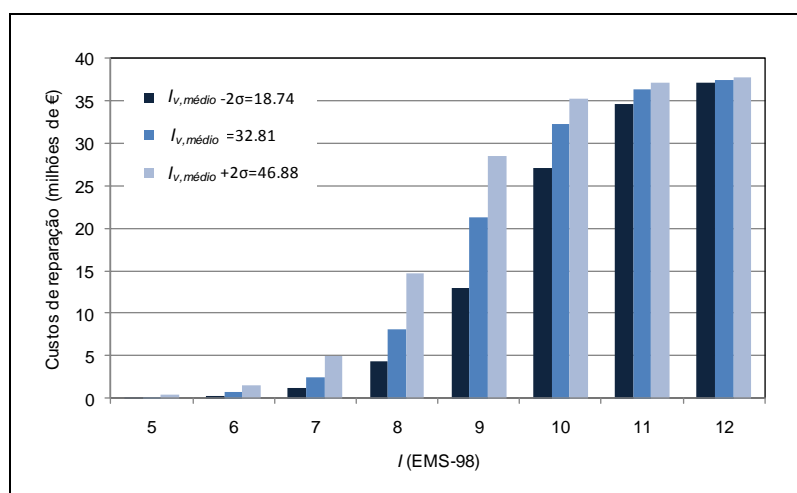


Figura 9: Estimativa de custos globais de reparação

Para as intensidades sísmicas V a IX, a diferença dos custos de reparação para o valor do índice de vulnerabilidade médio,  $I_{v,médio}$ , e para os outros valores ( $I_{v,médio}+2\sigma_{I_v}$ ;  $I_{v,médio}-2\sigma_{I_v}$ ) é substancialmente diferente. Para intensidades mais elevadas esta diferença é menor, devido à severidade da acção que conduz a valores de dano elevados, mesmo para valores de vulnerabilidade moderada. Tendo em conta a perigosidade da região do Vale Inferior do Tejo, os resultados para o intervalo de intensidade VII a IX devem merecer maior consideração, uma vez que correspondem às intensidades históricas máximas daquela região na escala de Mercalli Modificada, que tem correspondência directa com a escala EMS-98 [2].

Note-se que os custos globais de reparação estimados, em relação ao custo total de reposição para todo o edificado da área em estudo, são de 6.6% para  $I_{EMS-98}=VII$  e de 56.1% para  $I_{EMS-98}=VIII$ .

### 3. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos da avaliação da vulnerabilidade sísmica do parque edificado do Núcleo Urbano Antigo do Seixal permitem concluir que, dada a elevada vulnerabilidade sísmica do edificado analisado, e mesmo numa região de moderada perigosidade sísmica como é o caso da região do Vale Inferior do rio Tejo, o nível de dano associado a um eventual evento sísmico poderá ser bastante elevado. O nível de dano estimado para estas construções é um indicador da sua resistência às acções sísmicas e o facto de terem sido obtidos valores de dano e perda moderados a altos, para cenários de intensidade sísmica de VII e VIII, revela a elevada vulnerabilidade sísmica do edificado.

Releve-se a importância histórica, social e cultural destes edifícios, factores que sublinham a necessidade e a urgência da aplicação de um programa integrado de reabilitação dos mesmos. A complexidade associada a um projecto de intervenção deste tipo obriga ao máximo cuidado e rigor no seu planeamento e preparação. A particularidade de cada estrutura impõe uma selecção ponderada das técnicas de intervenção a aplicar em cada situação e constitui por si só um enorme desafio para os técnicos responsáveis.

Como comentário final, importa ainda salientar que este trabalho de reconhecimento e avaliação da vulnerabilidade sísmica do edificado deverá servir de ponto de partida para a implementação de políticas locais de intervenção, invertendo o actual processo de degradação do parque edificado do Núcleo Urbano Antigo do Seixal. É indispensável que os órgãos locais de decisão criem legislação municipal específica, aplicável na salvaguarda do património edificado, traçando linhas orientadoras, definindo formas e níveis de acção, e estabelecendo critérios de intervenção nestes edifícios.

### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Vicente, R. (2008). Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- [2] Grünthal, G. (1998). European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Luxembourg: Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie.
- [3] Bramerini, F.; Di Pasquale, G.; Orsini, A.; Pugliese, A.; Romeo, R.; Sabetta, F. (1995). Rischio sísmico del territorio italiano. Proposta per una metodologia e risultati preliminari; Rapporto técnico del Servizio Sismico Nazionale, SSN/RT/95/01, Roma.
- [4] HAZUS (1999). Earthquake Loss Estimation Methodology – Technical and User Manuals; Federal Emergency Management Agency. Washington, DC.
- [5] Benedetti, D. and Petrini, V. (1984). On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure; The industry of construction, Vol. 18, pp. 66-78.
- [6] Dolce, M.; Kappos, A.; Masi, A.; Penelis, G.; Vona, M. (2005). Vulnerability assessment and earthquake damage estimation of the building stock of Potenza (Southern Italy) using Italian and Greek methodologies; Elsevier, Engineering Structures, Vol. 28, pp. 357-371.
- [7] Portugal (2009). Portaria nº. 1379-B, de 30 de Outubro de 2009. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Diário da República, 1ª. série – Nº. 211 – 30 de Outubro de 2009.